

**Proton exchange membrane (PEM) fuel cell system and process of operating same**

Patent Number: ☐ US6190791  
Publication date: 2001-02-20  
Inventor(s): HORNBERG GERALD (DE)  
Applicant(s): XCELLSIS GMBH (US)  
Requested Patent: ☐ DE19755116  
Application Number: US19980208991 19981211  
Priority Number(s): DE19971055116 19971211  
IPC Classification: H01M8/06  
EC Classification: H01M8/04C2, H01M8/06B2  
Equivalents: ☐ EP0926756, B1

**Abstract**

A proton exchange membrane fuel cell system includes a proton exchange membrane fuel cell; a first compressor for compressing the process air supplied to the fuel cell; a first expander coupled with compressor for driving the first compressor; and a catalytic burner as the heat source. The cathode offgas from the fuel cell is fed to the catalytic burner as an air supply and the expander is operated by the exhaust air from the catalytic burner. A portion of the gas from the burner is expanded in a second expander, which is coupled to a second compressor which further compresses the air from the first compressor

Data supplied from the esp@cenet database - I2



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Patentschrift  
10 DE 197 55 116 C 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
H 01 M 8/04  
H 01 M 8/10

21 Aktenzeichen: 197 55 116.5-45  
22 Anmeldetag: 11. 12. 97  
43 Offenlegungstag: -  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 4. 3. 99

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:  
DBB Fuel Cell Engines GmbH, 73230 Kirchheim, DE

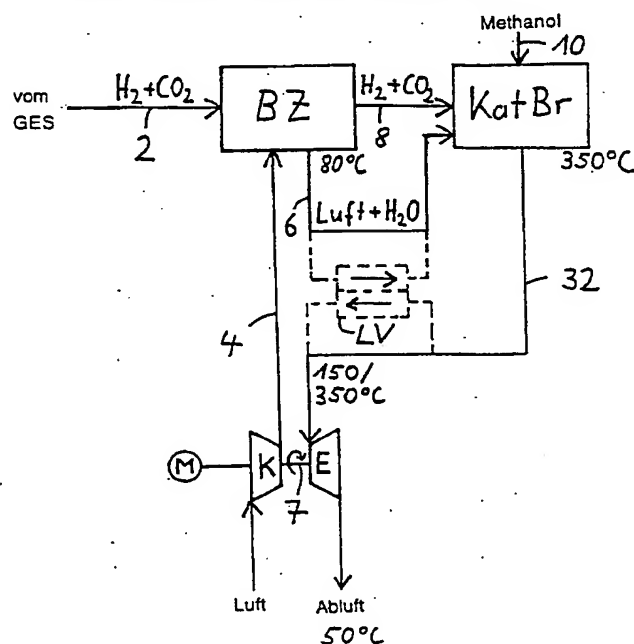
72 Erfinder:  
Hornburg, Gerald, Dipl.-Ing., 89275 Elchingen, DE

55 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 40 32 993 C1  
DE 44 46 841 A1  
DE 43 18 818 A1  
DE 40 21 097 A1  
EP 06 29 013 A2

54 PEM-Brennstoffzellensystem sowie Verfahren zum Betreiben eines PEM-Brennstoffzellensystems

57 Die Erfindung betrifft ein PEM-Brennstoffzellensystem mit folgenden Komponenten:  
- einer PEM-Brennstoffzelle (BZ),  
- einem Kompressor (K, K1) zur Komprimierung der der Brennstoffzelle (BZ) zuzuführenden Prozeßluft,  
- einem mit dem Kompressor (K, K1) gekoppelten Expander (E, E1) zum Antrieb des Kompressors (K, K1),  
- einem katalytischen Brenner (KatBr) als Wärmequelle. Gemäß der Erfindung wird das Kathodenabgas der Brennstoffzelle (BZ) dem katalytischen Brenner (KatBr) zur Luftversorgung zugeführt und der Expander (E, E1) mit der Abluft des katalytischen Brenners (KatBr) betrieben.



DE 197 55 116 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines PEM-Brennstoffzellensystems nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie ein PEM-Brennstoffzellensystem nach dem Oberbegriff des Anspruchs 6. Eine PEM-Brennstoffzelle umfaßt als wesentliche Komponente eine protonenleitende Elektrolytmembran (Proton Exchange Membran).

In der EP 0 629 013 B1 sowie der DE 43 18 818 A1 ist jeweils ein Brennstoffzellensystem bekannt, bei dem die Brennstoffzelle über einen Kompressor mit Prozeßluft versorgt wird. Der Kompressor wird mittels eines Elektromotors angetrieben. Zur Rückgewinnung der in der Abluft der Brennstoffzelle enthaltenen Energie ist der Kompressor außerdem mit einem Expander gekoppelt. Dazu sind Kompressor und Expander auf derselben Welle angeordnet. Ähnlich aufgebaut ist das Brennstoffzellensystem nach der DE 40 21 097 A1, bei der die Abluft der Brennstoffzelle an eine Entspannungsturbine geleitet wird. Die Entspannungsturbine ist mit einem Frischluftverdichter für die Luftversorgung der Brennstoffzelle gekoppelt.

Als Wärmequelle ist in den bekannten Brennstoffzellensystemen außerdem ein katalytischer Brenner vorhanden, dem Brennstoff in Form von feuchtem Anodenabgas ( $H_2$  und  $CO_2$ ) und zusätzlich auch Methanol zugeführt wird.

Bei der Verdichtung der Prozeßluft auf den üblichen Arbeitsdruck von z. B. 3 bar wird ein Anteil von ca. 20% der erzeugten Leistung der Brennstoffzelle für die Kompression benötigt. Bei der Nutzung der Energierückgewinnung im Expander reduziert sich dieser Anteil auf ca. 10 bis 15%. Damit trägt die Luftversorgung der Brennstoffzelle immer noch erheblich zur Wirkungsgradminderung des Systems bei.

Gleichzeitig besteht aus Gründen der Kostensenkung und Volumensenkung ein Bedarf an höheren Arbeitsdrücken auf der Kathodenseite (Luft), um die Brennstoffzelle aufgrund engerer Gaskanäle kleiner bauen zu können und eine höhere flächenbezogene Leistungsausbeute in der Brennstoffzelle zu erzielen.

Aus der DE 44 46 841 A1 ist ein Verfahren zum Betreiben eines Brennstoffzellensystems bekannt, bei dem sowohl das Anodenabgas wie auch die Abluft der Brennstoffzelle in den katalytischen Brenner geleitet werden.

Aus der DE 40 32 993 C1 ist eine Anlage zur kombinierten Erzeugung elektrischer und mechanischer Energie offenbart. Dabei werden die in einem Brenner unter Zuführung eines sauerstoffhaltigen und eines wasserstoffhaltigen Gases erzeugten Verbrennungsgase zur Gewinnung mechanischer Energie in einer nachgeschalteten Gasturbine genutzt. Die erzeugte mechanische Energie wird zu einem Teil für den Antrieb eines Kompressors verwendet, mit dem das dem Brenner zuzuführende sauerstoffhaltige Gas verdichtet wird. Die Anlage umfaßt zur Erzeugung elektrischer Energie außerdem eine Brennstoffzelle, deren wasserstoffhaltiges Anodenabgas in den Brenner geleitet wird.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein PEM-Brennstoffzellensystem bzw. ein Verfahren zum Betreiben eines PEM-Brennstoffzellensystems zu schaffen, mit dem ein höherer Wirkungsgrad erreicht werden kann.

Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 6 gelöst. Vorteilhafte Ausführungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

Grundlegend für die Erfindung ist die Erkenntnis, daß die Expanderleistung deutlich gesteigert werden kann, wenn dem Expander mehr Luftmassenstrom, eine höhere Temperatur und ggf. ein höherer Druck zugeführt wird. Eine Erhöhung des Luftmassenstroms und der Temperatur wird erfin-

dungsgemäß erreicht, indem die Luft am Kathodenausgang der PEM-Brennstoffzelle vor der Expansion zunächst als Luftversorgung dem katalytischen Brenner zugeführt wird, und der Expander mit der Abluft des katalytischen Brenners betrieben wird. Das Kathodenabgas ist durch die Brennstoffzellenreaktion zwar an Sauerstoff abgereichert, enthält aber immer noch ausreichende Mengen an Sauerstoff für die Reaktion im katalytischen Brenner. Durch diese Anordnung wird der an den Expander geführte Massenstrom verglichen mit den bekannten Vorrichtungen erhöht, da dem katalytischen Brenner Brennstoff, üblicherweise feuchtes Anodenabgas und Methanol, zugeführt wird, dessen Reaktionsprodukte somit ebenfalls zu dem Expander gelangen. Gleichzeitig wird der gesamte, dem Expander zuzuführende Luftmassenstrom von Brennstoffzellentemperatur (typische Temperatur bei PEM-Brennstoffzellen ca.  $80^\circ C$ ) auf die Arbeitstemperatur des katalytischen Brenners (ca.  $350^\circ C$ ) erhöht. Mit dem derart erwärmten Massenstrom kann nun direkt ein geeigneter, für diese Temperaturen ausgelegter Expander betrieben werden. In einer vorteilhaften Ausführung kann dieser Massenstrom teilweise auch zur Vorwärmung des Kathodenabgases vor Eintritt in den katalytischen Brenner genutzt werden.

Durch den zusätzlichen Energieeintrag in den Expander in Form von Wärme und Massenstrom wird dessen Leistung soweit erhöht, daß der Kompressorantrieb (Elektromotor und Umrichter) deutlich kleiner ausfallen kann und bei optimaler Abstimmung von Druckniveau und/oder zusätzlicher Brenngaszufuhr im katalytischen Brenner auch ganz wegfällen kann.

Bei PEM-Brennstoffzellensystemen, bei der das Brenngas für die Brennstoffzellen durch ein Hochdruckgaserzeugungssystem (z. B. bei der Methanolreformierung) erzeugt wird, eröffnet sich eine weitere Möglichkeit zur Steigerung der Expanderleistung bzw. Senkung der Kompressorleistung, indem mittels einer zweiten Verdichterstufe vor dem Kathodeneingang der PEM-Brennstoffzelle das Druckniveau erhöht wird. Die zweite Verdichterstufe wird durch Expansion des in dem Hochdruckgaserzeugungssystem vorhandenen Gases betrieben, wobei der Gasdruck vom Systemdruck des Hochdruckgaserzeugungssystems ( $> 15$  bar, insbesondere zwischen 20 und 30 bar) auf Arbeitsdruck des katalytischen Brenners (ca. 3 bar) fällt. Das expandierte Gas wird nach Durchlaufen der zweiten Verdichterstufe dem katalytischen Brenner zugeführt und erhöht somit den dem Expander der ersten Verdichterstufe zugeführten Massenstrom. Die zweite Verdichterstufe kann in Form eines mit einem Expander gekoppelten Kompressor ohne Motor oder eines Turboladers ausgebildet sein.

Durch diese Ausführung wird nicht nur die elektrische Kompressorleistung reduziert (Systemwirkungsgraderhöhung und geringere Baugröße), sondern auch der Wirkungsgrad und die Baugröße der Brennstoffzelle positiv beeinflusst.

Die Erfindung wird anhand von Figur näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein bekanntes Brennstoffzellensystem, wie in der Beschreibungseinleitung erläutert,

Fig. 2 und 3 jeweils eine Ausführung eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems.

Fig. 1 zeigt ein bekanntes Brennstoffzellensystem, wie in der Beschreibungseinleitung erwähnt. Es umfaßt die PEM-Brennstoffzelle BZ mit der Zuführleitung 2 für das Brenngas, z. B. einem Gemisch aus  $H_2$  und  $CO_2$ , welches in einem separaten Gaserzeugungssystem GES erzeugt wird, sowie die Zu- und Abfuhrleitungen 4, 6 für die Prozeßluft. Die Prozeßluft wird vor Eintritt in die Brennstoffzelle BZ mittels eines Kompressors K, der von einem Motor M angetrieben

wird, komprimiert. Zur Rückgewinnung der in der Abluft der Brennstoffzelle BZ enthaltenen Energie ist in der Abluftleitung 6 ein Expander E angeordnet, welcher mit dem Kompressor K gekoppelt ist. Expander E und Kompressor K sitzen auf derselben Welle 7.

Desweiteren ist ein katalytischer Brenner KatBr vorhanden, der als Wärmequelle für das System dient. Als Brennstoff wird ihm über die Leitung 8 das feuchte Anodenabgas aus der Brennstoffzelle BZ, z. B.  $H_2$  und  $CO_2$  und über die Leitung 10 Methanol zugeführt. Der für die Reaktion im Brenner KatBr außerdem benötigte Sauerstoff wird über die Luftzufuhrleitung 30 nach Kompression im Kompressor K zugeführt. Die Abluft des Brenners KatBr in der Leitung 32 weist eine Temperatur von  $350^\circ C$  auf und wird zur Vorwärmung der dem Brenner zuzuführenden Luft verwendet (Luftvorwärmer LV). Beim Verlassen des Luftvorwärmers LV weist die Abluft noch eine Temperatur von ca.  $150^\circ C$  auf. Diese Wärme kann bisher im System nicht weiter genutzt werden.

Fig. 2 zeigt eine Ausführung des erfindungsgemäßen Systems. Das Brenngas für die PEM-Brennstoffzelle wird in dieser Ausführung mittels eines Niederdruckgaserzeugungssystems GES, z. B. durch CO-Oxidation, erzeugt und über die Leitung 2 in die Brennstoffzelle BZ geführt. Anders als bei dem System nach Fig. 1 wird die Abluft am Kathodenausgang der Brennstoffzelle BZ nicht sofort expandiert, sondern über die Leitung 6 dem katalytischen Brenner KatBr zugeführt, wo sie als Luftversorgung dient. Die Abluft des katalytischen Brenners KatBr wird über die Leitung 32 an dem mit dem Kompressor K gekoppelten Expander E geführt. Kompressor K und Expander E sitzen auf derselben Welle 7. Optional kann ein Teil der Abluft des Brenners KatBr zur Luftvorwärmung des dem Brenner zuzuführenden Luftstroms verwendet werden. Der entsprechende Luftvorwärmer LV ist gestrichelt eingezeichnet. Die Abluft der Brennstoffzelle BZ, die am Kathodenausgang der Brennstoffzelle eine Temperatur von ca.  $80^\circ C$  aufweist, wird im Brenner KatBr auf ca.  $350^\circ C$  erwärmt. Die Abluft des Brenners KatBr weist beim Eintritt in den Expander E, abhängig von der Luftvorwärmung im Luftvorwärmer LV, eine Temperatur zwischen 150 und  $350^\circ C$  auf. Nach dem Verlassen des Expanders E beträgt die Temperatur etwa  $50^\circ C$ . Die Abluft des Brenners KatBr verläßt das System somit bei einer wesentlich geringeren Temperatur als bei den bekannten Systemen. Gleichzeitig wird dem Expander ein größerer Massenstrom zugeführt, der zudem eine höhere Temperatur aufweist. Es ergibt sich somit ein wesentlich erhöhter Gesamtwirkungsgrad des Systems.

Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführung des erfindungsgemäßen PEM-Brennstoffzellensystems. Bei diesem System wird das Brenngas für die PEM-Brennstoffzelle BZ durch eine Methanolreformierungsreaktion unter Einsatz eines Hochdruckgaserzeugungssystems erzeugt. Dieses umfaßt z. B. eine Pd-Membran-Einheit PDM. Das Brenngas ( $H_2$ ) wird über die Leitung 2 in die Brennstoffzelle BZ geführt. Die der Brennstoffzelle BZ zuzuführende Prozeßluft wird wie bei den bisher beschriebenen Ausführungen mittels eines Kompressors K1 komprimiert. Entsprechend Fig. 2 wird auch hier die Abluft der PEM-Brennstoffzelle BZ über eine Leitung 6 an den katalytischen Brenner KatBr für dessen Luftversorgung geführt, und das Abgas des Brenners, ggf. mit Luftvorwärmung (Luftvorwärmer LV gestrichelt eingezeichnet), über die Leitung 32 an den mit dem Kompressor K1 gekoppelten Expander E1 geführt, die auf derselben Welle 7 sitzen. Zur weiteren Steigerung des Expanderleistung bzw. Senkung der Kompressorleistung ist in dieser Ausführung eine zweite Verdichterstufe vorhanden, die hier aus dem Kompressor K2 und einem damit gekoppelten Ex-

pander E2 besteht. Kompressor K2 und Expander E2 sind auf einer gemeinsamen Welle 18 angeordnet. Über die Leitung 16 wird das Gas aus der Pd-Membran-Einheit PDM des Hochdruckgaserzeugungssystems, in welcher ein Druck höher 15 bar, bevorzugt zwischen 20 und 30 bar, vorliegt, auf den Systemdruck des katalytischen Brenners (ca. 3 bar) KatBr expandiert. Das expandierte Gas wird anschließend über die Leitung 20 an den katalytischen Brenner KatBr geführt, wo es als Brennstoff für die Brennerreaktion dient. Da der Expander E2 der zweiten Verdichterstufe von der Expansion des Gases im Gaserzeugungssystem betrieben wird, wird für ihn kein zusätzlicher Antrieb benötigt. Mit der beschriebenen Ausführung wird nicht nur eine Erhöhung des Systemwirkungsgrads erreicht, sondern darüberhinaus der Wirkungsgrad und die Baugröße der Brennstoffzelle positiv verändert.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines PEM-Brennstoffzellensystems, enthaltend

- eine PEM-Brennstoffzelle (BZ),
- einen Kompressor (K, K1) zur Komprimierung der der Brennstoffzelle (BZ) zuzuführenden Prozeßluft,
- einen mit dem Kompressor (K, K1) gekoppelten Expander (E, E1) zum Antrieb des Kompressors (K, K1),
- einen katalytischen Brenner (KatBr) als Wärmequelle,

dadurch gekennzeichnet, daß das Kathodenabgas der PEM-Brennstoffzelle (BZ) dem katalytischen Brenner (KatBr) zur Luftversorgung zugeführt wird und der Expander (E, E1) mit der Abluft des katalytischen Brenners (KatBr) betrieben wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das PEM-Brennstoffzellensystem ein Hochdruckgaserzeugungssystem (PDM) zur Erzeugung des Brenngases für die PEM-Brennstoffzelle (BZ) sowie einen zweiten Kompressor (K2), der eine zweite Stufe zur Komprimierung der Prozeßluft bildet, umfaßt, wobei der zweite Kompressor (K2) mit einem zweiten Expander (E2) gekoppelt ist, und der zweite Expander (E2) durch Expansion des unter hohem Druck stehenden Gases aus dem Hochdruckgaserzeugungssystem (PDM) betrieben wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das aus dem Hochdruckgaserzeugungssystem (PDM) stammende Gas auf einem Druck von höher als 15 bar, insbesondere auf 20 bis 30 bar gehalten wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß das den zweiten Expander (E2) betreibende Gas nach Durchlaufen des zweiten Expanders (E2) dem katalytischen Brenner (KatBr) zur Luftversorgung zugeführt wird.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Abluft des katalytischen Brenners (KatBr) zur Vorwärmung des Kathodenabgases der Brennstoffzelle (BZ) vor seinem Eintritt in den katalytischen Brenner (KatBr) eingesetzt wird.

6. PEM-Brennstoffzellensystem, enthaltend

- eine PEM-Brennstoffzelle (BZ),
- einen Kompressor (K, K1) zur Komprimierung der der Brennstoffzelle (BZ) zuzuführenden Prozeßluft,
- einen mit dem Kompressor (K, K1) gekoppelten Expander (E, E1) zum Antrieb des Kompressors

sors (K, K1),

– einen katalytischen Brenner (KatBr) als Wärmequelle,

dadurch gekennzeichnet, daß eine Leitung (6) vorhanden ist, mittels der das Kathodenabgas der PEM-Brennstoffzelle (BZ) dem katalytischen Brenner (KatBr) zur Luftversorgung zugeführt werden kann und eine weitere Leitung (32), mittels der die Abluft des katalytischen Brenners (KatBr) an den Expander (E, E1) geführt werden kann, vorhanden ist. 5 10

7. PEM-Brennstoffzellensystem nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß es ein Hochdruckgaserzeugungssystem (PDM) zur Erzeugung des Brenngases für die PEM-Brennstoffzelle (BZ) sowie einen zweiten Kompressor (K2), der eine zweite Stufe zur Komprimierung der Prozeßluft bildet, umfaßt, wobei der zweite Kompressor (K2) mit einem zweiten Expander (E2) gekoppelt ist, und der zweite Expander (E2) über eine Leitung (16) mit dem Hochdruckgaserzeugungssystem (PDM) in Verbindung steht, über die das aus dem Hochdruckgaserzeugungssystem (PDM) stammende, unter hohem Druck stehende Gas in den zweiten Expander (E2) gelangt. 15 20 25

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

45

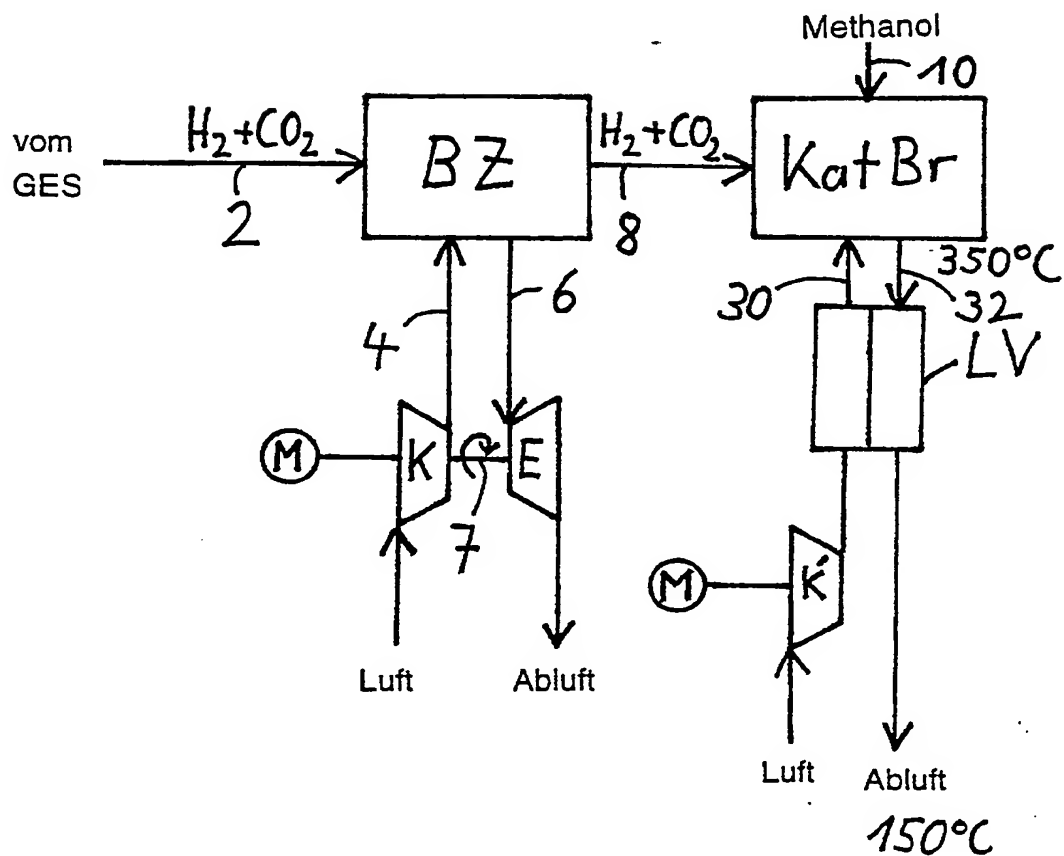
50

55

60

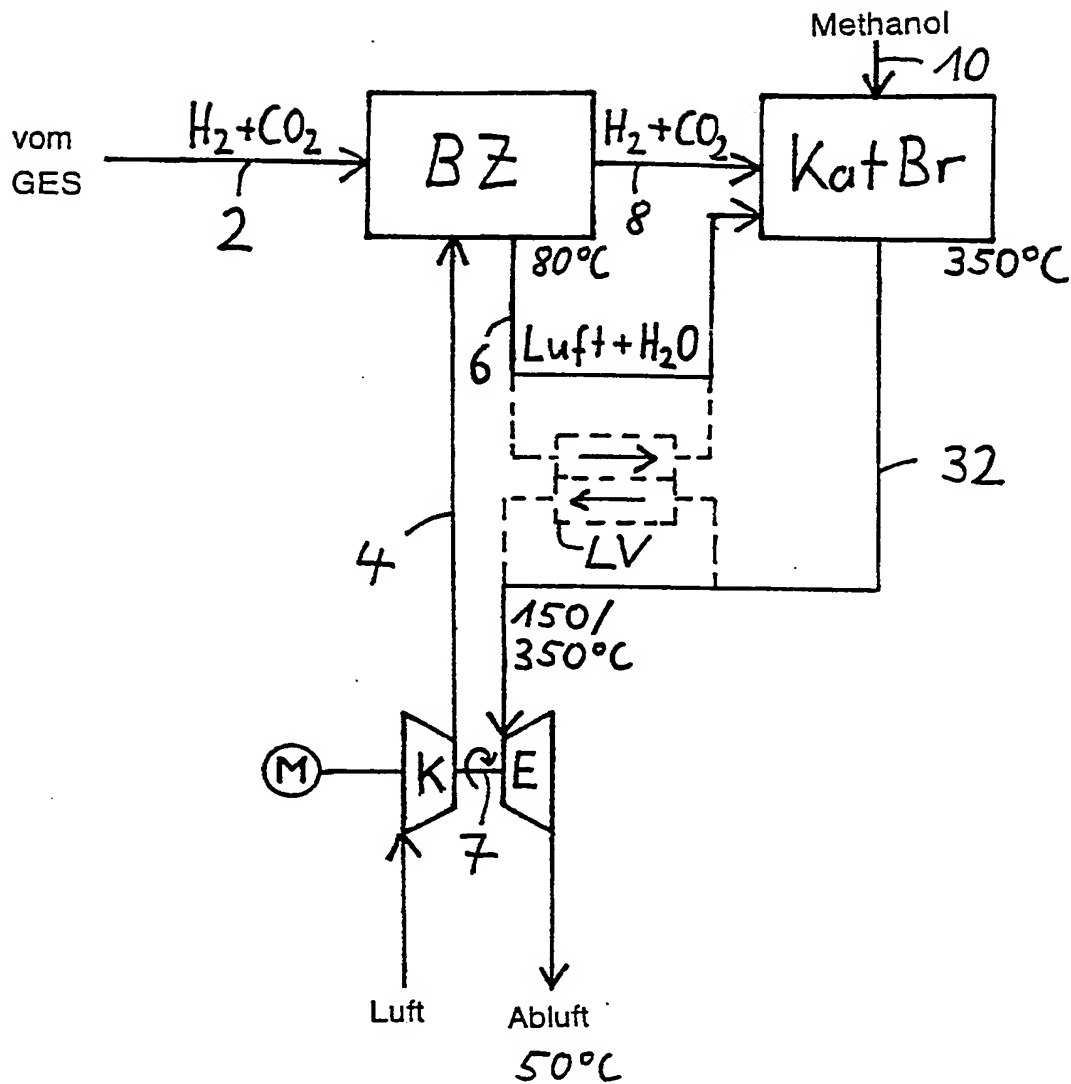
65

Fig. 1 Stand der Technik



BEST AVAILABLE COPY

Fig. 2



BEST AVAILABLE COPY

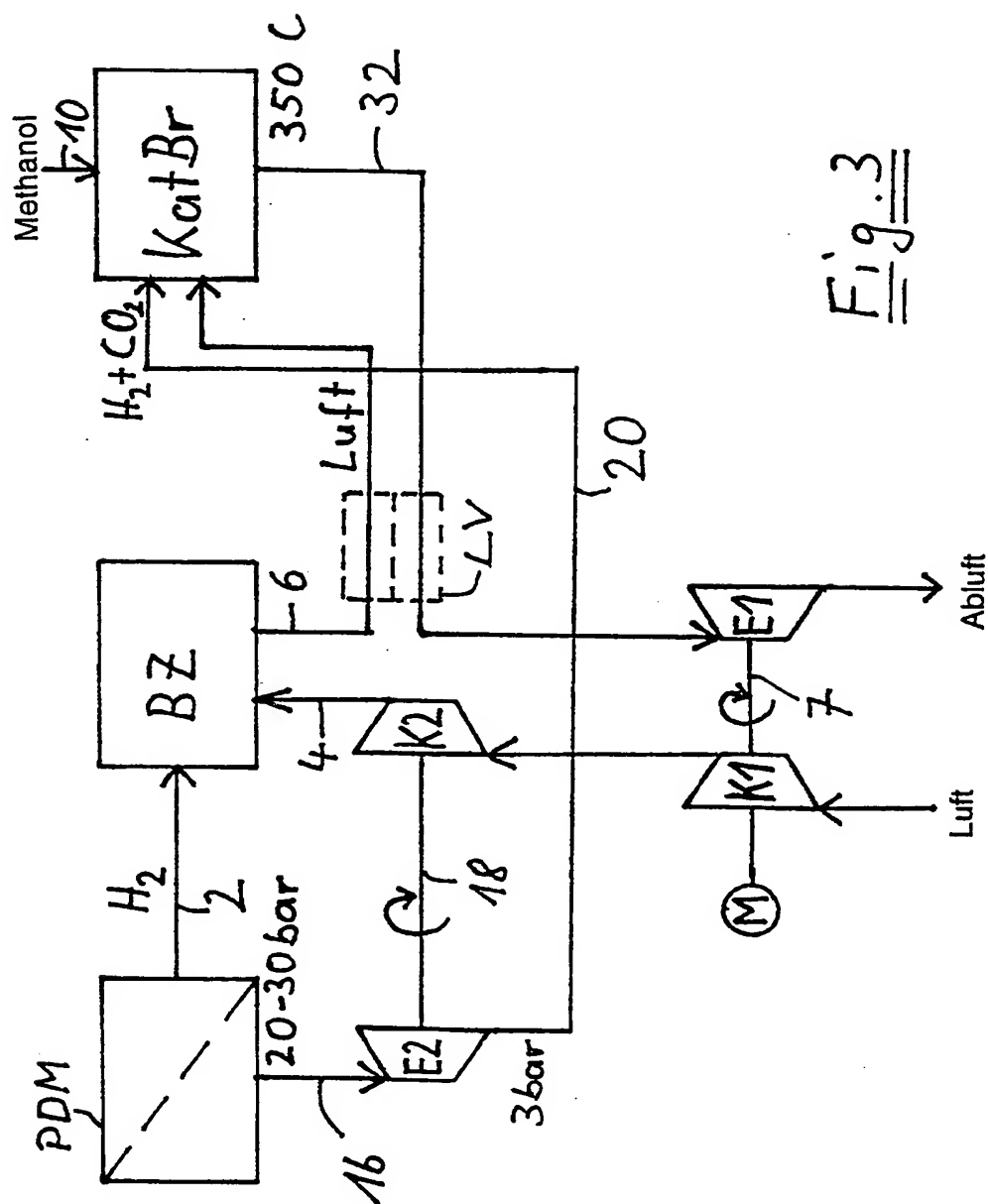


Fig. 3.

**BEST AVAILABLE COPY**